

# **PENURUNAN KADAR BESI DALAM LIMBAH CAIR LABORATORIUM TEKNIK LINGKUNGAN UNDIP DENGAN ZEOLIT SINTETIK SEBAGAI PENUKAR KATION**

**Zulfaqar Maulana, Ganjar Samudro, Mochtar Hadiwidodo**

Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP, Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

Email: [zulfaqar\\_maulana@yahoo.co.id](mailto:zulfaqar_maulana@yahoo.co.id)

## **ABSTRACT**

Laboratory activities produce hazardous and toxic waste. Preliminary test results obtained by the concentration of Fe exceeded the quality standard of waste water by the Central Java Provincial Regulation No. 10 / 2004, so that needs to be processed. One of the methods to overcome the heavy metal pollution is cation exchange (ion exchange). Material or media is a synthetic zeolite from coal bottom ash. In this study, synthetic zeolites of bottom ash coal activated by thermal method with a temperature of 300°C for 3 hours, chemical activation with 3 M NaOH and the combined thermal and chemical to degrade the concentration of Fe in Environmental Engineering Laboratory waste water. The synthetic zeolite were sieved of 40 mesh, 60 mesh and 100 mesh. This study focused on the CEC value of the synthetic zeolite and Fe ion removal efficiency in Environmental Engineering Laboratory waste water. The study was conducted by the method of batch and continuous. Batch method aims to determine the value of CEC and continuous method aims to determine the decreasing in concentration of Fe. From batch experiments was the CEC value obtained between 0.931 mg/g to 1.2429 mg/g. The decreasing in concentration of Fe using synthetic zeolite based on activation and the size of the synthetic zeolite is 80.55% up to 90.25%. The optimum process is 100 mesh synthetic zeolites with thermal and chemical activation.

**Keywords:** *Bottom Ash Coal, Synthetic Zeolites, Cation Exchange Capacity (CEC)*

## **PENDAHULUAN**

Laboratorium di perguruan tinggi mempunyai peran penting sebagai fasilitas penunjang untuk kegiatan pendidikan para mahasiswa dan penelitian mahasiswa maupun para dosennya. Kegiatan di laboratorium termasuk kegiatan yang menghasilkan limbah bahan berbahaya dan beracun/B3. Sehingga perguruan tinggi dengan sejumlah laboratorium di dalamnya, semestinya memiliki sistem pengelolaan limbah yang baik.

Sebagian besar unsur-unsur yang berbahaya yang terdapat dalam limbah cair laboratorium adalah logam berat seperti Besi

(Fe), Mangan (Mn), Krom (Cr), dan Merkuri (Hg). Dari uji pendahuluan logam berat yang terkandung dalam limbah cair laboratorium Teknik Lingkungan UNDIP didapatkan hasil yaitu logam berat Fe 19,84 mg/l; Cr 0,142 mg /l, dan Cu 0,61 mg/l. Berdasarkan Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 baku mutu untuk Fe: 5 mg/l; Cr: 0,5 mg/l dan Cu: 2 mg/l. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa kandungan logam Fe telah melebihi bakumutu, oleh sebab itu perlu dilakukan pengolahan untuk menurunkan kadar logam berat tersebut.

Beberapa metode untuk mengatasi pencemaran logam berat seperti metode elektrolitik, pertukaran kation (*ion exchange*), pengendapan maupun adsorpsi telah banyak dilakukan. *Ion exchange* merupakan proses reaksi kimia bersifat reversibel dimana suatu ion (atom atau molekul) yang telah hilang atau memperoleh suatu elektron dan dengan demikian memperoleh suatu muatan elektrik dalam larutan yang digantikan dengan ion yang bermuatan sama dari partikel butir padat *immobile*. Partikel padat ion exchange ini bisa dalam bentuk anorganik zeolit (alami) dan juga sintetik dalam bentuk resin organik. Resin organik buatan merupakan jenis yang banyak digunakan saat ini, sebab memiliki karakteristik yang dapat dikhususkan pada aplikasi spesifik

Pemanfaatan sumber daya alam juga telah banyak digunakan termasuk memanfaatkan limbah sebagai *raw material* untuk menghilangkan polutan. Salah satu sumber daya alam yang diperkirakan mempunyai cadangan produksi yang cukup besar adalah batubara. Limbah abu dasar ini dapat dimanfaatkan untuk menghilangkan kandungan logam berat seperti Endro Kismolo (2012) melakukan penelitian nilai KTK dengan pengaktifan termal dan pengaktifan kimia dengan nilai masing-masing KTK yaitu 1,904 mEq/g dan 1,921 mEq/g, Andreas Djatmiko Poerwadio (2004) melakukan penelitian penurunan kadar besi dengan zeolit alam berukuran 10,20,30,40 mesh dan nilai KTK yang didapat berbanding terbalik dengan besar ukuran butiran zeolit.

### Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besar nilai Tukar Kation (KTK) zeolit sintetik dalam penurunan kadar Fe.
2. Menganalisa penurunan kadar Fe menggunakan zeolit sintetik dengan sistem kontinyu

## TINJAUAN PUSTAKA

### Zeolit

Zeolit merupakan mineral aluminasilikat hidrat yang mengandung logam alkali dan alkali tanah dengan rumus empiris  $(M^+, M^{2+})O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$ , dengan  $M^+$  adalah Na atau K, dan  $M^{2+}$  adalah Mg, Ca, atau Fe, x merupakan suatu bilangan 2-10 dan y merupakan bilangan 2-7. Molekul air dapat terjerap pada struktur kristal zeolit sehingga sering dijumpai zeolit mengandung air kristal dan disebut sebagai zeolit terhidrasi. Kandungan air dalam zeolit berkisar 1-35%. Perbandingan antara atom Si dan Al akan menghasilkan banyak variasi zeolit. Sampai saat ini lebih dari 50 jenis zeolit sudah teridentifikasi, diantaranya analsim, kabasit, klipnotilolit, erionit, ferrierit, heulandit, laumontit, natrolit, mordenit, filipsit dan. Jenis yang paling umum dijumpai di Indonesia adalah jenis klipnotilolit dan mordenit (PPPTM 1997).

Struktur kristal zeolit membentuk suatu kerangka tetrahedron berantai dalam bentuk 3 dimensi. Pada kristal zeolit kedudukan atom pusat tetrahedron ditempati oleh atom Si dan Al, sedangkan atom-atom oksigen berada pada sudut-sudutnya. Beberapa atom Si digantikan oleh atom Al, menghasilkan struktur bermuatan negatif yang mula-mula berasal dari perbedaan antara tetrahedral  $(AlO_4)^{5-}$  dan  $(SiO_4)^{4-}$ . Sisi negatif ini diseimbangkan oleh kation yang dapat dipertukarkan, umumnya alkali dan alkali tanah yang dapat digantikan oleh kation lain dalam larutan seperti Pb, Cd, Cu, Zn, dan Mn. Sehingga memungkinkan zeolit bersifat sebagai penukar ion (Valdes *et al.* 2006, Panneerselvam *et al.* 2008, Jamil *et al.* 2010).

### Sintesis Zeolit

Sintesis zeolit dilakukan secara hidrotermal yang melibatkan air sebagai pelarut, sumber silika, sumber alumina, dan senyawa pengarah struktur. Sintesis secara hidrotermal melibatkan air dan panas.

Larutan *prekursor* dipanaskan dalam wadah tertutup, keadaan tersebut dimaksudkan agar terjadi kesetimbangan antara uap air dan larutan. Wadah yang tertutup menjadikan uap air tidak akan keluar, sehingga tidak ada bagian dari larutan yang hilang dan komposisi larutan prekursor tetap terjaga (Oye *et al.* 2001; Musyoka *et al.* 2009).

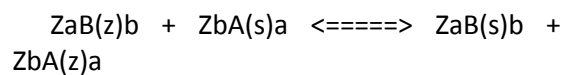
Sintesis zeolit sangat dipengaruhi oleh keberadaan zat pengotor (*impurities*), kondisi percobaan seperti pH, waktu pencampuran, lama kristalisasi, suhu dan volume air yang digunakan. Pengotor tertentu yang tidak larut dalam air selama proses kristalisasi dapat menyebabkan spesi yang tidak diinginkan membentuk inti kristal ataupun menyebabkan pengendapan spesi silikat yang tidak larut. Adanya kontaminasi dari alat yang digunakan, seperti gelas piala dapat menyebabkan larutnya boron, silika, dan alumina, sehingga berkontribusi dalam reaksi. Selain itu faktor penting yang harus dicermati dalam sintesis zeolit adalah kondisi pH harus di atas 10 (ada kisaran tertentu), waktu yang cukup untuk proses pencampuran, volume air yang cukup dan tidak menguap selama proses kristalisasi serta pengaruh suhu reaksi yang karakteristik. Jika suhu terlalu rendah proses kristalisasi akan berjalan sangat lambat dan jika terlalu tinggi dimungkinkan terbentuk fase yang tidak diinginkan (Musyoka *et al.* 2009).

### Sifat-Sifat Zeolit

#### a) Sifat Pertukaran Ion dari Zeolit

Kemampuan pertukaran ion zeolit merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan dalam menentukan kualitas zeolit yang akan digunakan, biasanya dinyatakan sebagai KTK (kemampuan tukar kation). KTK adalah jumlah meq ion logam yang dapat diserap maksimum oleh 1 g zeolit dalam kondisi kesetimbangan. Nilai KTK zeolit ini banyak tergantung pada jumlah ion Al dalam struktur zeolit.

Reaksi pertukaran ion pada zeolit terjadi apabila kation-kation yang awalnya berada dalam sistem berpori dalam kristal digantikan ion-ion lainnya dari larutan. Larutan dan zeolit selanjutnya mencapai kesetimbangan sebagai berikut:



Untuk penentuan Kapasitas Tukar Kation (KTK) dan Koefisien Distribusi (Kd) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$KTK = \frac{Co - Ct}{Co} \times \frac{V}{W} \times N$$

$$Kd = \frac{Co - Ct}{Co} \times \frac{V}{W}$$

Keterangan :

Kd = Distribution Coefisient

KTK = Kapasitas Tukar Kation

W = Berat (gram)

V = Volume (ml)

N = Normalitas

Co = Aktivitas limbah awal

Ct = Aktivitas beningan

(Zamroni, 2000)

#### b) Sifat Adsorpsi dari Zeolit

Adsorpsi adalah suatu proses penjerapan suatu zat oleh zat lainnya, yang hanya terjadi pada permukaan. Zat yang dijerap disebut fase terjerap (adsorbat) dan zat yang menjerap disebut adsorben. Adsorben pada umumnya adalah zat padat yang berrongga, contohnya adalah zeolit. Pada umumnya untuk dapat mengadsorpsi, zeolit harus didehidrasi terlebih dahulu dengan pemanasan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain luas permukaan, ukuran partikel, dan komposisi kimia. Adapun sifat adsorbat antara lain ukuran molekul dan komposisi kimia serta konsentrasi adsorbat dalam fase cairan. Semakin kecil ukuran partikel, maka semakin besar luas permukaan

padatan per satuan volume tertentu, sehingga semakin banyak zat yang diadsorpsi (Atkins 1999).

### c) Sifat Katalis dari Zeolit

Definisi katalis yang umum diterima saat ini adalah zat yang meningkatkan laju reaksi kimia tanpa 'dirinya sendiri' ikut terlibat dalam reaksi secara permanen, sehingga pada akhir reaksi katalis tidak tergabung dengan senyawa produk reaksi. Adanya katalis dapat mempengaruhi faktor-faktor kinetik suatu reaksi seperti laju reaksi, energi aktivasi, sifat dasar keadaan transisi, dan lain-lain (Augustine 1996).

Berdasarkan fasenya, material katalis dapat digolongkan menjadi katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen ialah katalis yang mempunyai fase yang sama dengan fase campuran reaksinya, sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang berbeda fase dengan campuran reaksinya.

### METODELOGI

Adapun variabel penelitian pada ini adalah diameter butiran zeolit sintetik dan cara pengaktifan zeolit sintetik

Alat yang digunakan timbangan, magnetic stirrer, gelas beker, gelas ukur, oven, furnace, AAS.

Bahan yang digunakan adalah abu dasar batu bara dan NaOH 3M.

Pengayakan Untuk penelitian ini, ukuran abu batu bara yang digunakan adalah

#### b) Pengaktifan kimia

Bahan kimia yang digunakan adalah NaOH 3M. Cara pengaktifan nya yaitu dengan mereaksikan abu batubara dengan NaOH dengan perbandingan solid: liquid (zeolit:NaOH) = 1:2 [gr : ml]. Kemudian dipanaskan pada temperatur 100°C selama 4 jam disertai dengan pengadukan. Setelah 4 jam saringa menggunakan kertas saring, residu lalu di keringkan pada ove dengan temperatur

40; 60; dan 100 mesh. Proses pengayakan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah jurusan Teknik Sipil, UNDIP.

### CARA KERJA

#### Pengayakan abu batu bara

Cara pengayakan yaitu abu dasar batu bara diayak menggunakan ayakan ukuran 40 mesh, butiran yang tidak lolos tidak digunakan dan butiran yang akan diayak kembali untuk mendapatkan butiran ukuran 40 mesh. Hasil ayakan tadi diayak kembali menggunakan ayakan 60 mesh, butiran yang tidak lolos merupakan ukuran 40 mesh dan butiran yang lolos digunakan untuk mendapatkan ukuran 60 mesh. Hasil ayakan terakhir diayak kembali menggunakan ayakan 100 mesh, butiran yang tidak lolos adalah ukuran 60 mesh dan yang lolos adalah ukuran 100 mesh.

#### Pengaktifan zeolit sintetik

##### a) Pengaktifan termal

Setelah dilakukan pengayakan abu batu bara kemudian dipanaskan pada furnace selama 3 jam pada suhu 300°C. Setelah 3 jam keluarkan abu batu bara dan masukan ke dalam desikator untuk mendinginkan selama 10 menit. Lakukan langkah tersebut pada setiap ukuran abubatu bara. Hasilnya adalah zeolit sintetik dengan pengaktifan termal

110°C selama 2 jam. Hasilnya adalah zeolit sintetik dengan aktivasi kimia.

##### c) Pengaktifan termal dan kimia

Pengaktifan ini dalah gabungan antara pengaktifan secara termal dan pengaktifan secara kimia.

#### pengujian batch

Uji batch dilakukan untuk mengetahui nilai KTK dan massa adsorben yang akan diujikan

dapat menurunkan konsentrat Fe. Uji batch ini dilakukan dengan jar test. Tahapan pengujian sebagai berikut:

a) Persiapan Bahan Baku

Persiapan bahan baku sama dengan persiapan bahan baku diatas. Ukuran zeolit, cara pengaktifan zeolit dan waktu mengikuti pengujian filter kontinu.

b) Persiapan Reaktor

Persiapan Reaktor untuk penelitian batch menggunakan Jar Test atau dengan magnetic stirrer pada suhu kamar (25° C).

c) Teknik Pengujian

- Siapkan sampel air yang mengandung  $\text{FeCl}_3$  dengan konsentrasi 19,077 ppm ke dalam gelas ukur 100 ml sebanyak 6 buah.
- Masukkan gelas ukur yang berisi sampel tersebut ke dalam reaktor yang telah dibubuhkan zeolit sintetik dengan massa 0,1 mg.
- Lakukan pengujian dengan variabel waktu 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 menit (triplo).
- Uji Effluen yang didapat diukur Fe (dengan AAS), pH dan suhunya.

d) Pengolahan Data

### Pengujian Kontinyu

Reaktor yang digunakan merupakan sebuah alat berupa tabung dengan 1 buah lubang overflow. Reaktor dilengkapi dengan pompa untuk mengalir overflow untuk masuk kembali ke dalam reactor. cara kerja reator akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Reaktor dengan tinggi 100 cm memiliki tekanan sebesar 9.800 Pa.
2. Pasangkan Media zeolit sintetik ke Holder dan pastikan tidak ada celah diantaranya
3. Pasangkan Holder ke reaktor

4. Masukkan limbah laboratorium kedalam reactor sebanyak 7,85 Liter.

5. Reaktor akan kelebihan muatan air dan akan keluar melalui lubang overflow yang telah disiapkan pada ketinggian 1 m.

6. Tampung air overflow kedalam wadah dan pasang pipa pada wadah tersebut untuk dialirkan kembali ke reactor menggunakan pompa dengan debit 1 liter/menit.

7. Tampung Effluent yang keluar melalui outlet holder setiap 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit

8. Lakukan langkah 1-7 pada media dan variabel selanjutnya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam percobaan ini digunakan larutan  $\text{FeCl}_3$  sebagai limbah pengganti. Nilai konsentrasi  $\text{FeCl}_3$  yang digunakan sebesar 19,077 mg/l dan nilai Normaitasnya sebesar 0,0000702. Zeolit sintetik yang digunakan adalah zeolit dengan cara pengaktifan secara termal. Banyak zeolit yang digunakan 0,1 gram dan  $\text{FeCl}_3$  yg digunakan sebanyak 100 ml. Hasil penelitian dari percobaan batch diujikan dengan AAS (Atomic Absorbtion Spectrofotometre) di Laboratorium Teknik Lingkungan. Percobaan dilakukan dengan 3 kali pengulangapn

**Tabel 4.1 Hasil Percobaan Batch Dengan Pengaktifan Termal**

| waktu | satuan | ukuran 40 mesh |        |        | ukuran 60 mesh |        |        | ukuran 100 mesh |        |        |
|-------|--------|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
|       |        | 1              | 2      | 3      | 1              | 2      | 3      | 1               | 2      | 3      |
| 0     | mg/l   | 19,077         | 19,077 | 19,077 | 19,077         | 19,077 | 19,077 | 19,077          | 19,077 | 19,077 |
| 5     | mg/l   | 5,691          | 5,553  | 5,691  | 4,607          | 4,249  | 4,318  | 4,028           | 3,929  | 3,852  |
| 10    | mg/l   | 5,996          | 5,874  | 5,675  | 5,256          | 4,768  | 4,691  | 4,783           | 5,218  | 5,035  |
| 15    | mg/l   | 6,911          | 6,164  | 6,789  | 5,553          | 5,569  | 5,645  | 5,775           | 5,866  | 5,996  |
| 20    | mg/l   | 7,773          | 7,521  | 7,224  | 7,064          | 7,476  | 7,620  | 7,285           | 7,094  | 7,468  |
| 25    | mg/l   | 8,833          | 8,559  | 8,673  | 9,299          | 9,367  | 9,413  | 9,390           | 9,382  | 9,916  |
| 30    | mg/l   | 11,587         | 11,678 | 11,076 | 11,671         | 11,778 | 11,739 | 11,610          | 11,846 | 11,572 |

**Tabel 4.2 Hasil Percobaan Batch Dengan Pengaktifan Kimia**

| waktu | satuan | ukuran 40 mesh |        |        | ukuran 60 mesh |        |        | ukuran 100 mesh |        |        |
|-------|--------|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
|       |        | 1              | 2      | 3      | 1              | 2      | 3      | 1               | 2      | 3      |
| 0     | mg/l   | 19,077         | 19,077 | 19,077 | 19,077         | 19,077 | 19,077 | 19,077          | 19,077 | 19,077 |
| 5     | mg/l   | 5,401          | 5,759  | 5,508  | 4,379          | 4,035  | 4,325  | 3,402           | 3,234  | 3,349  |
| 10    | mg/l   | 6,011          | 6,041  | 5,858  | 4,646          | 4,569  | 5,035  | 3,540           | 3,845  | 3,944  |
| 15    | mg/l   | 6,225          | 6,286  | 6,270  | 6,019          | 5,965  | 5,408  | 4,074           | 4,035  | 4,013  |
| 20    | mg/l   | 7,216          | 7,048  | 7,346  | 6,575          | 6,606  | 6,507  | 5,294           | 5,080  | 5,164  |
| 25    | mg/l   | 8,978          | 8,803  | 8,925  | 7,567          | 7,598  | 8,002  | 7,048           | 7,201  | 7,117  |
| 30    | mg/l   | 11,106         | 10,961 | 11,007 | 9,566          | 9,276  | 9,680  | 9,855           | 9,077  | 9,634  |

**Tabel 4.3 Hasil Percobaan Batch Dengan Pengaktifan Termal Dan Kimia**

| waktu | satuan | ukuran 40 mesh |        |        | ukuran 60 mesh |        |        | ukuran 100 mesh |        |        |
|-------|--------|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
|       |        | 1              | 2      | 3      | 1              | 2      | 3      | 1               | 2      | 3      |
| 0     | mg/l   | 19,077         | 19,077 | 19,077 | 19,077         | 19,077 | 19,077 | 19,077          | 19,077 | 19,077 |
| 5     | mg/l   | 3,654          | 3,540  | 3,639  | 3,234          | 3,402  | 3,623  | 1,366           | 1,129  | 1,015  |
| 10    | mg/l   | 3,852          | 4,104  | 4,447  | 3,929          | 4,112  | 3,990  | 2,456           | 2,502  | 2,045  |
| 15    | mg/l   | 4,844          | 4,806  | 4,760  | 4,569          | 4,684  | 4,600  | 3,540           | 3,349  | 3,715  |
| 20    | mg/l   | 5,843          | 5,508  | 5,996  | 6,675          | 6,308  | 6,423  | 4,958           | 5,195  | 5,058  |
| 25    | mg/l   | 7,422          | 7,201  | 7,353  | 7,880          | 7,926  | 7,727  | 6,682           | 6,400  | 6,324  |
| 30    | mg/l   | 10,809         | 11,244 | 11,045 | 9,680          | 9,566  | 9,443  | 9,451           | 9,054  | 9,146  |

#### Nilai KTK setiap Zeolit Sintetik

Setelah dilakukan percobaan pendahuluan dengan jar test, didapatkan nilai penurunan konsentrasi yang bervariasi berdasarkan ukuran zeolit sintetik dan cara

pengaktifan zeolit sintetik. Dari nilai penurunan tersebut didapat pula besarnya nilai KTK tiap zeolit sintetik.

**Tabel 4.4 Nilai KTK Setiap Zeolit Sintetik**

| cara pengaktifan | satuan KTK | ukuran zeolit sintetik |         |          |
|------------------|------------|------------------------|---------|----------|
|                  |            | 40 mesh                | 60 mesh | 100 mesh |
| termal           | mg/g       | 0,931                  | 1,020   | 1,048    |
| kimia            | mg/g       | 0,941                  | 1,035   | 1,090    |
| termal dan kimia | mg/g       | 1,069                  | 1,090   | 1,243    |

Dari tabel diatas dapat dilihat nilai KTK berdasarkan ukurannya, semakin kecil ukuran butiran zeolit sintetik maka semakin besar nilai KTK. Hal ini disebabkan semakin kecil ukuran butiran maka semakin besar luas permukaan untuk mengalami kontak dengan limbah, sehingga daya atau kekuatan tukar kationnya semakin besar.

Kemudian bila dilihat dari cara pengaktifan zeolit sintetik, nilai KTK zeolit sintetik dengan pengaktifan termal dan kimia tidak jauh berbeda. Hal ini disebabkan karena pada pengaktifan secara termal bertujuan untuk mengeluarkan air atau garam pengotor dari dalam rongga-rongga zeolit sehingga luas permukaan internal pori meningkat namun pori-pori yang terbentuk masih cukup kecil. Sedangkan aktivasi secara kimiawi bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan

**Tabel 4.6 Kebutuhan Zeolit Sintetik Dalam Reaktor**

| cara pengaktifan | kebutuhan zeolit | ukuran zeolit sintetik |         |          |
|------------------|------------------|------------------------|---------|----------|
|                  |                  | 40 mesh                | 60 mesh | 100 mesh |
| termal           | gram             | 167,36                 | 152,64  | 148,66   |
| kimia            | gram             | 165,49                 | 150,47  | 142,86   |
| termal dan kimia | gram             | 145,67                 | 142,86  | 125,31   |

sehingga didapatkan pori-pori zeolit yang bersih.

Nilai KTK zeolit sintetik dengan cara pengaktifan termal dan kimia mempunyai nilai yang pling besar karena pori-pori yang terbentuk pada butiran zeolit lebih besar akibat adanya pengaktifan secara termal dan kimia yang dilakukan, sehingga proses pertukaran kation menjadi lebih baik.

### Penentuan Berat Zeolit Sintetik yang Digunakan

**Tabel 4.5 Kebutuhan Zeolit Sintetik per Liter**

| cara pengaktifan | kebutuhan zeolit | ukuran zeolit sintetik |         |          |
|------------------|------------------|------------------------|---------|----------|
|                  |                  | 40 mesh                | 60 mesh | 100 mesh |
| termal           | gram             | 21,32                  | 19,44   | 18,94    |
| kimia            | gram             | 21,08                  | 19,17   | 18,20    |
| termal dan kimia | gram             | 18,59                  | 18,20   | 15,96    |

Berdasarkan desain reaktor yang direncanakan didapat volume reaktor sebesar 7,85 liter, maka untuk menurunkan logam Fe yang ada dalam reaktor adalah dengan mengkalikan kebutuhan zeolit sintetik perliter dengan volume air yang ada dalam reaktor. Kebutuhan zeolit sintetik dalam reaktor dapat dilihat pada tabel berikut:

### PENGUJIAN KONTINYU

Pengujian ini dilakukan dalam waktu 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Pengujian sampel dilakukan sebanyak 3 kali. Pengujian sampel menggunakan AAS.



**Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kontinyu Dengan Zeolit Sintetik Pengaktifan Termal**

| waktu | satuan | ukuran 40 mesh |        |        | ukuran 60 mesh |        |        | ukuran 100 mesh |        |        |
|-------|--------|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
|       |        | 1              | 2      | 3      | 1              | 2      | 3      | 1               | 2      | 3      |
| 0     | mg/l   | 19,84          | 19,84  | 19,84  | 19,84          | 19,84  | 19,84  | 19,84           | 19,84  | 19,84  |
| 5     | mg/l   | 4,059          | 4,359  | 3,859  | 3,123          | 2,972  | 3,031  | 2,178           | 2,527  | 2,372  |
| 10    | mg/l   | 4,256          | 4,557  | 4,680  | 3,819          | 4,423  | 4,044  | 3,435           | 3,645  | 3,224  |
| 15    | mg/l   | 5,918          | 6,418  | 6,625  | 6,018          | 5,898  | 6,214  | 5,130           | 4,708  | 4,968  |
| 20    | mg/l   | 7,749          | 7,999  | 7,759  | 7,481          | 7,690  | 7,269  | 6,079           | 6,079  | 6,079  |
| 25    | mg/l   | 10,495         | 9,995  | 10,135 | 10,246         | 9,995  | 10,395 | 8,963           | 8,607  | 9,066  |
| 30    | mg/l   | 11,174         | 11,674 | 11,374 | 12,007         | 12,317 | 12,523 | 12,404          | 12,632 | 12,833 |

**Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kontinyu Dengan Zeolit Sintetik Pengaktifan Kimia**

| waktu | satuan | ukuran 40 mesh |        |        | ukuran 60 mesh |        |        | ukuran 100 mesh |        |        |
|-------|--------|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
|       |        | 1              | 2      | 3      |                |        | 1      | 2               | 3      |        |
| 0     | mg/l   | 19,84          | 19,84  | 19,84  | 19,84          | 19,84  | 19,84  | 19,84           | 19,84  | 19,84  |
| 5     | mg/l   | 3,713          | 3,661  | 3,462  | 2,788          | 2,987  | 3,013  | 2,014           | 2,213  | 2,265  |
| 10    | mg/l   | 4,256          | 4,507  | 4,455  | 3,489          | 3,463  | 3,264  | 3,167           | 2,916  | 3,115  |
| 15    | mg/l   | 6,169          | 6,117  | 5,918  | 5,350          | 5,125  | 5,324  | 4,412           | 4,464  | 4,213  |
| 20    | mg/l   | 8,554          | 8,355  | 8,606  | 8,580          | 8,554  | 8,355  | 6,117           | 6,316  | 6,368  |
| 25    | mg/l   | 10,643         | 10,392 | 10,591 | 10,194         | 9,995  | 10,220 | 8,858           | 8,607  | 8,806  |
| 30    | mg/l   | 12,166         | 12,365 | 12,417 | 11,769         | 11,994 | 11,968 | 11,245          | 11,444 | 11,496 |

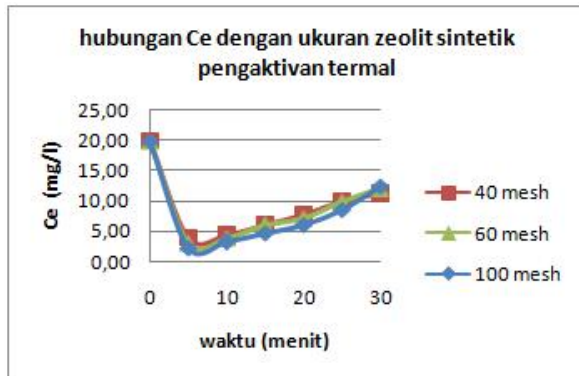
**Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kontinyu Dengan Zeolit Sintetik Pengaktifan Termal Dan Kimia**

| waktu | satuan | ukuran 40 mesh |        |        | ukuran 60 mesh |        |        | ukuran 100 mesh |        |        |
|-------|--------|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
|       |        | 1              | 2      | 3      | 1              | 2      | 3      | 1               | 2      | 3      |
| 0     | mg/l   | 19,840         | 19,840 | 19,840 | 19,840         | 19,840 | 19,840 | 19,840          | 19,840 | 19,840 |
| 5     | mg/l   | 3,125          | 2,926  | 3,177  | 2,384          | 2,332  | 2,133  | 1,934           | 2,185  | 2,133  |
| 10    | mg/l   | 3,661          | 3,462  | 3,713  | 2,867          | 3,066  | 3,118  | 3,066           | 2,867  | 3,118  |
| 15    | mg/l   | 5,125          | 4,926  | 5,177  | 3,934          | 4,133  | 4,185  | 3,987           | 3,736  | 3,935  |
| 20    | mg/l   | 6,966          | 6,767  | 7,018  | 7,018          | 6,966  | 6,767  | 5,180           | 5,431  | 5,379  |
| 25    | mg/l   | 8,806          | 8,607  | 8,858  | 8,858          | 8,607  | 8,806  | 8,858           | 8,806  | 8,607  |
| 30    | mg/l   | 11,444         | 11,245 | 11,496 | 12,079         | 12,330 | 12,278 | 12,436          | 12,635 | 12,687 |

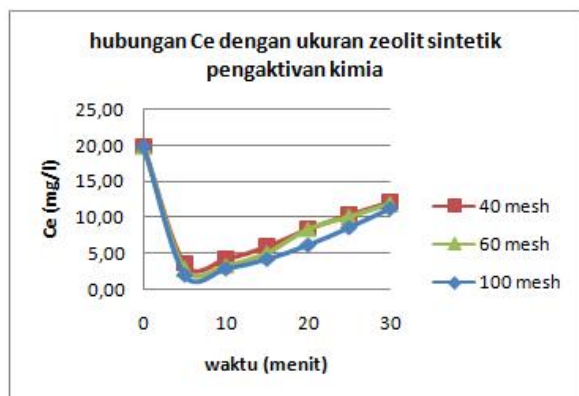


### Hubungan antara penurunan konsentrasi dengan ukuran zeolit sintetik

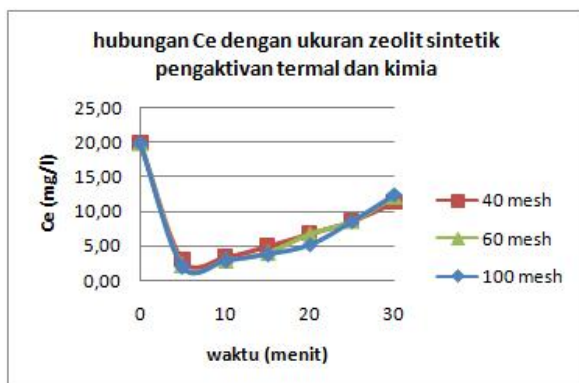
Berdasarkan hasil pengamatan tabel dan grafik dapat kita lihat hubungan antara penurunan konsentrasi dengan ukuran butiran zeolit sintetik



**Gambar 4.1 Hubungan Ce Dengan Ukuran Zeolit Sintetik Pengaktifan Termal**



**Gambar 4.2 Hubungan Ce Dengan Ukuran Zeolit Sintetik Pengaktifan Kimia**



**Gambar 4.3 Hubungan Ce Dengan Ukuran Zeolit Sintetik Pengaktifan Termal Dan Kimia**

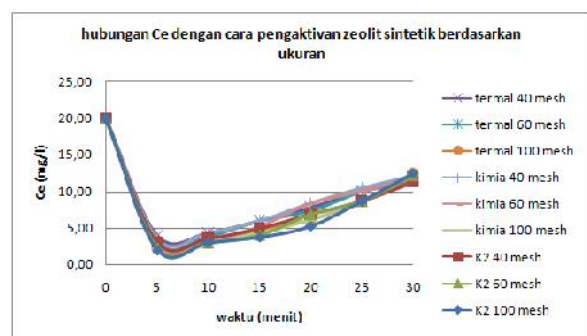
berdasarkan 3 grafik diatas dpat dilihat bahwa semakin kecil ukuran butiran zeolit

sintetik maka semakin besar penurunan yang terjadi. Hal ini disebabkan karena luas permukaan zeolit sintetik semakin besar sehingga kontak permukaan dengan polutan semakin besar. Hasil penelitian ini didukung dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Thamzil Las, dkk, tentang Penyerapan Merkuri Dalam Limbah Simulasi Menggunakan Zeolit Klinoptilolit yang menyatakan bahwa penurunan atau penyerapan merkuri paling baik terjadi pada ukuran zeolit yang paling kecil yaitu  $\leq 212 \mu\text{m}$ . Zeolit dengan ukuran butir yang kecil ternyata memiliki kemampuan penyerapan yang besar. Hal ini dapat dijelaskan bahwa ukuran butir yang kecil menghasilkan permukaan zeolit yang terkontak dengan limbah semakin luas sehingga zeolit yang menempel dipermukaan semakin besar, hal ini yang dapat meningkatkan kemampuan zeolit untuk melakukan penyerapan.

Ukuran butir zeolit yang semakin kecil, memberikan nilai efisiensi penyerapan yang cenderung semakin besar. Hal ini dapat dipahami bahwa pada jumlah zeolit yang sama, semakin kecil ukuran butirnya akan menambah jumlah pori penyerap sehingga limbah yang terserap juga akan semakin besar atau nilai efisiensi penyerapannya akan semakin besar.

### Hubungan antara penurunan konsentrasi dengan cara pengaktifan zeolit sintetik

kemudian kita dapat melihat hubungan antara penurunan konsentrasi dengan cara pengaktifan zeolit sintetik berdasarkan ukurannya. Dapat dilihat pada grafik berikut:



**Gambar 4.4 Hubungan Ce Dengan Cara Pengaktifan Zeolit Sintetik Berdasarkan Ukuran**

Untuk mempermudah pembacaan grafik dapat dilihat dengan tabel penurunan konsentrasi

terbaik dari pengaktifan zeolit sintetik berdasarkan tiap ukuran

**Tabel 4.10 Penurunan Konsentrasi Terbaik Tiap Ukuran Dan Cara Pengaktifan Zeolit**

| cara pengaktifan | satuan | ukuran zeolit sintetik |         |          |
|------------------|--------|------------------------|---------|----------|
|                  |        | 40 mesh                | 60 mesh | 100 mesh |
| termal           | mg/l   | 3,859                  | 2,972   | 2,178    |
| kimia            | mg/l   | 3,462                  | 2,788   | 2,014    |
| termal dan kimia | mg/l   | 2,926                  | 2,133   | 1,934    |

Berdasarkan gambar grafik 4.10 dan data tabel 4.28 dapat dilihat bahwa penurunan konsentrasi semakin besar secara berturut-turun yaitu dengan cara pengaktifan termal, kimia dan termal+kimia. Hal tersebut disebabkan karena pori-pori permukaan zeolit yang terbentuk semakin besar dan baik akibat cara pengaktifan tersebut. Waktu optimal dari semua zeolit sintetik adalah 5 menit dengan penurunan dari 3,859 mg/l hingga 1,934 mg/l.

#### Konduktivitas Hidrolik

Dari percobaan kontinyu yang dilakukan didapat besarnya debit yang keluar dari reaktor. Hal ini di pengaruhi adanya koduktivitas hidrolik zeolit sintetik. Konduktivitas hidrolik adalah kemampuan air untuk melewati media, dalam hal ini yaitu zeolit sintetik.

Nilai  $\Delta H$  semua reaktor= 1 meter,  $A=0,001104 \text{ m}^2$ , nilai  $Q$  dan  $L$  tiap reaktor berbeda-beda dikarnakan ukuran zeolit sintetik yang digunakan. Nilai  $Q$  dan nilai  $L$  dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4.11 Debit Outlet Reaktor**

| cara pengaktifan | debit    | ukuran zeolit sintetik |         |          |
|------------------|----------|------------------------|---------|----------|
|                  |          | 40 mesh                | 60 mesh | 100 mesh |
| termal           | ml/menit | 55,00                  | 53,00   | 50,00    |
| kimia            | ml/menit | 54,00                  | 51,00   | 49,00    |
| termal dan kimia | ml/menit | 54,00                  | 52,00   | 49,00    |

Nilai  $L$  atau tinggi zeolit sintetik dipengaruhi oleh banyaknya zeolit yang digunakan dalam reaktor. Tinggi zeolit tiap reaktor dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4.13 Tinggi Zeolit Dalam Reaktor**

| cara pengaktifan | L | ukuran zeolit sintetik |         |          |
|------------------|---|------------------------|---------|----------|
|                  |   | 40 mesh                | 60 mesh | 100 mesh |
| termal           | m | 0,155                  | 0,153   | 0,151    |
| kimia            | m | 0,155                  | 0,153   | 0,151    |
| termal dan kimia | m | 0,141                  | 0,140   | 0,138    |

Dari data yang diperoleh, dapat dicari nilai konduktifitas hidrolik. Perhitungan sebagai berikut:

- Perhitungan untuk zeolit sintetik termal 40 mesh

$$K = \frac{Q/A}{\Delta H/L}$$

$$K = \frac{0,000000917 / 0,001104}{1/0,155}$$

$$K = 0,000129 \text{ m/s}$$

Untuk nilai konduktivitas hidrolik semua zeolit sintetik dalam reaktor dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 4.32 Nilai Konduktivitas Hidrolik Zeolit Sintetik**

| cara pengaktifan | k   | ukuran zeolit sintetik |          |          |
|------------------|-----|------------------------|----------|----------|
|                  |     | 40 mesh                | 60 mesh  | 100 mesh |
| termal           | m/s | 0,000129               | 0,000122 | 0,000114 |
| kimia            | m/s | 0,000126               | 0,000118 | 0,000112 |
| termal dan kimia | m/s | 0,000115               | 0,000110 | 0,000102 |

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran zeolit sintetik maka semakin kecil nilai konduktivitas hidroliknya. Hal ini dikarenakan pori-pori yang dilewati air semakin kecil dan tingkat kerapatannya semakin besar. Menurut Fredlund dan Rahardjo (1993) menyatakan bahwa hukum Darcy juga diterapkan untuk aliran air dalam tanah tidak jenuh. Perbedaannya adalah pada koefisien permeabilitas. Pada tanah jenuh koefisien permeabilitas dianggap konstan sebab hanya tergantung pada angka pori. Anggapan ini tidak berlaku pada tanah tidak jenuh. Koefisien tanah tidak jenuh dipengaruhi oleh perubahan kadar air atau matric suction. Air tidak dapat mengalir melalui ruang pori yang terisi udara, namun air hanya dapat mengalir melalui ruang pori yang terisi oleh air. Pada waktu tanah dalam kondisi tidak jenuh, udara menempati ruang pori yang besar. Akibatnya air hanya dapat mengalir

melalui pori yang lebih kecil. Seiring dengan meningkatnya tegangan air pori negatif, ruang pori lebih banyak terisi oleh udara, sehingga permeabilitas menjadi berkurang. Disamping angka pori, derajat kejenuhan (kadar air) adalah faktor penting lain yang mempengaruhi permeabilitas media dalam hal ini tanah tidak jenuh.

Kemudian menurut Runi Asmaranto, dkk dalam penelitian tentang Penentuan Nilai Konduktivitas Hidrolik Tanah Tidak Jenuh Menggunakan Uji Resistivitas Di Laboratorium menyatakan bahwa secara umum terlihat jelas bahwa semakin besar porositas tanah maka konduktivitas hidrolik juga semakin besar, hal ini dikarenakan tanah belum mencapai titik *air entry value* (AEP) maka nilai konduktivitas hidrolik cenderung konstan. Pada kondisi ini diduga tanah masih berada pada kondisi jenuh air. Kondisi AEP adalah suatu kondisi dimana udara pori mulai masuk kedalam pori-pori tanah, dan diperkirakan pada kondisi ini tanah mulai masuk zone tidak jenuh

### Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilaksanakan telah didapat 2 jawaban yang dapat ditarik kesimpulannya yaitu hasil penelitian pendahuluan (penelitian dengan sistem batch), Hasil penelitian kontinyu (penelitian dengan sistem kolom). Pada hasil batch disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran zeolit maka semakin besar nilai KTK (Kapasitas Tukar Kation). Kemudian cara pengaktifan zeolit sintetis pun mempengaruhi nilai KTK. Nilai KTK yang didapat berdasarkan cara pengaktifan dan ukuran zeolit sintetis yaitu antara 0,931 mg/g hingga 1,2429 mg/g. Pengaruh ukuran pada nilai KTK akan semakin besar secara berturut-turut 40 mesh < 40 mesh < 100 mesh. Dan pengaruh pengaktifan zeolit sintetis terhadap nilai KTK adalah pengaktifan termal < pengaktifan kimia < pengaktifan termal dan kimia.

Pada hasil kontinyu dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai KTK yang dimiliki zeolit sintetis maka penurunan konsentrasi Fe akan semakin besar/baik. Penurunan konsentrasi Fe dengan zeolit sintetis berdasarkan pengaktifan dan ukuran zeolit sintetis yaitu 3,859 mg/l (80,55%) hingga 1,934 mg/l (90,25%). Dan zeolit

sintetis terbaik adalah zeolit sintetis ukuran 100 mesh dengan pengaktifan termal dan kimia.

### Saran

1. Bagi penelitian berikutnya, perlu ditambahkan interval waktu penelitiannya dari tiap 5 menit menjadi tiap 3 menit dalam waktu tertentu sehingga dapat terlihat lebih jelas grafik penurunan konsentrasinya.
2. Perlu dilakukan pembacaan struktur zeolit agar diketahui dengan pasti jenis zeolit sintetisnya.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan abu dasar batubara sebagai zeolit sintetis agar dapat diaplikasikan dalam kehidupan masyarakat, seperti untuk pengolahan air limbah ataupun pengolahan air bersih.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adjat Sudrajat dkk., 1997 "Bahan galian industri" Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral PPPTM.
- Atkins, P.W., (1999), *Kimia Fisika*, University Lecturer and Fellow of Lincoln College, Oxford.
- Augustine. R.L., 1996, *Heterogenous Catalysis for Chemist*, Marcel Dekker, New
- Musyoka NM, Petrik LF, Balfour G, Natasha M, Gitari W, Mabovu B. 2009. Removal of toxic elements from brine using zeolit Na-P1 made from A South African coal fly ash. *Proceedings ISBN Number:978-0-9802623-5-3. Pretoria South Africa.*
- Valdes M. Granda, Perez-Cordoves A.I. & Diaz-Garcia M.E. 2006. Zeolites and zeolit-based materials in analytical chemistry. *Trends in Analytical Chemistry* 25 (1): 24-30.
- Zamroni, Husen. 2000. Pembuatan Mn-Zeolit Untuk Menyerap Limbah Radioaktif Sr-90 dan Limbah Fe. Pusat Pengembangan Limbah Radioaktif.